

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.CI<sup>6</sup>

C30B 15/00



## [12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 98100136.X

[43]公开日 1998年9月16日

[11]公开号 CN 1193054A

[22]申请日 98.1.16

[30]优先权

[32]97.1.17 [33]JP[31]17687/97

[71]申请人 信越半导体株式会社

地址 日本东京

[72]发明人 阿部孝夫 木村雅规

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 甘 玲

权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图页数 2 页

[54]发明名称 硅单晶的制造方法及其使用的晶种

[57]摘要

在一种利用柴克劳斯基法制造硅单晶的方法中，使用一种具有尖点形状或是尖点截头之尖端的晶种。晶种尖端缓慢与硅熔体接触，并且以缓慢的速度降低晶种的高度，以便熔融晶种尖端部直到该尖端部的面积增加到预定值。接着慢慢将晶种向上提拉，以便生长出具有预定直径的硅单晶晶锭而不进行缩颈操作。此方法可以轻易地提拉出重的硅单晶，而不进行缩颈操作，同时不需要使用例如晶体固定机构等的复杂装置。

(BJ)第 1456 号

## 权 利 要 求 书

---

1、一种利用柴克劳斯基法制造硅单晶的方法，其中，晶种与硅熔体接触，然后在旋转的同时缓慢地提拉，以便在晶种之下生长硅单晶晶锭，该方法包含下列步骤：

提供具有要与硅熔体接触之尖端的晶种，所述的尖端具有尖点形状或是它的截头；

缓慢将晶种尖端与硅熔体接触，然后以缓慢的速度降低晶种的高度，以便熔融晶种尖端部直到该尖端部的尺寸增加到预定值；以及

接着慢慢将晶种向上提拉，以便生长出具有预定直径的硅单晶晶锭而不进行缩颈操作。

2、如权利要求 1 所述制造硅单晶的方法，其中，在该晶种尖端与硅熔体缓慢接触之前，该晶种固定在紧接于硅熔体之上，以便增加晶种的温度。

3、如权利要求 1 所述制造硅单晶的方法，其中，用以降低晶种高度以便熔融其尖端的速度等于或小于 20 毫米 / 分钟。

4、如权利要求 2 所述制造硅单晶的方法，其中，用以降低晶种高度以便熔融其尖端的速度等于或小于 20 毫米 / 分钟。

5、一种用于根据 C Z 法制造硅晶晶锭的硅晶种，其中，要与硅熔

体接触之晶种尖端具有尖点型状或是它的截头。

6、如权利要求 5 所述的硅晶种，其中，该晶种尖端具有圆锥形状或金字塔形状。

7、如权利要求 5 所述的硅晶种，其中，首先要与硅熔体接触之晶种的端表面具有等于或小于  $9\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 的面积。

8、如权利要求 6 所述的硅晶种，其中，首先要与硅熔体接触之晶种的端表面具有等于或小于  $9\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 的面积。

9、如权利要求 5 所述的硅晶种，其中，首先要与硅熔体接触之晶种的端表面具有等于或小于  $2.25\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 的面积。

10、如权利要求 6 所述的硅晶种，其中，首先要与硅熔体接触之晶种的端表面具有等于或小于  $2.25\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 的面积。

11、如权利要求 7 所述的硅晶种，其中，首先要与硅熔体接触之晶种的端表面具有等于或小于  $2.25\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 的面积。

12、如权利要求 8 所述的硅晶种，其中，首先要与硅熔体接触之晶种的端表面具有等于或小于  $2.25\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 的面积。

## 说 明 书

## 硅单晶的制造方法及其使用的晶种

本发明涉及一种根据柴克劳斯基 ( Czochralski, C Z ) 法的硅单晶制造方法，而不需要执行所谓的缩颈操作 (necking operation)。另外，本发明也涉及一种在该制造方法中所使用的晶种。

在利用柴克劳斯基 ( C Z ) 法的硅单晶制造方法中，单晶的硅常用来作为晶种。硅单晶晶锭的成长是藉由将晶种与硅熔体接触，并且在其旋转的同时，缓慢拉出晶种而进行。此时，进行用以形成颈部的操作 (缩颈操作) 以消除当晶种与硅熔体接触时之热冲击所造成高密度晶种的错位。接着，增加晶体的直径到预定的大小，然后再将硅单晶晶锭拉出。这种缩颈操作便是熟知的 “Dash Necking Method” ，并且在根据 C Z 法而拉出硅单晶晶锭的情况下，这种方法的使用已是非常普遍的。

尤其是如图 3 A 与 3 B 所示，常规的晶种是形成一个具有 8 - 20 毫米直径的圆柱形状，或是形成一种具有 8 - 20 毫米边长的棱形形状，并且形成一个用以连接于晶种固定器的切除部。首先与硅熔体接触之晶种尖端或底端形成平板面。在维持晶锭的重量时，为了要安全拉出重份量的单晶晶锭，晶种必须具有上述范围的尺寸。

然而，因为具有上述形状与尺寸的晶种在与硅熔体接触的尖端具有大的热容量，所以当晶种与硅熔体接触时，在晶体内会同时产生陡剧的温度梯度，使得产生高密度的滑动错位。因此，上述的缩颈操作必须要能够生长单晶同时消除错位。

在 Dash Necking Method 中，当晶种与硅熔体接触之后，在晶体直径增加之前先要缩小到大约 3 毫米，以便形成颈部，藉此消除由于晶种

产生之滑动错位所引起的错位，并藉此生长出无错位的单晶。

然而，在此方法中，即使当适当地选择缩颈操作的条件时，晶体直径也必须缩小到 5 - 6 毫米或更小，以便消除错位。在此情况下，其强度变得不足以支持单晶晶锭（其重量由于直径的增加而变大），而造成在拉出单晶晶锭的过程中处于发生颈部断裂的高危险性之中。这可能造成严重的事故，例如单晶晶锭的掉落。

为了解决上述的问题，开发出一种利用晶体固定机构而拉出目前认为是重的大直径单晶晶锭的方法（见日本特许公告第 5 - 6 5 4 7 7 号）。

在此方法中，考虑到缩颈造作对于错位的消除是不可缺少的、因而颈部的强度无法增加，生长着的单晶晶锭被直接且机械式地固定。

然而，在这种单晶晶锭（该晶锭是在被旋转时而生长于高温之中）直接被固定的方法中，用于执行这种方法的装置变得复杂又昂贵，而且也会产生有关热阻抗的问题。另外，实际上，极难将生长的晶体固定而不产生震动，因此该生长的晶体可能变成多晶。另外，因为包含旋转、滑动与其他运动机构之装置必须设置于高温硅熔体之上，所以会产生该晶体被重金属杂质污染的问题。

为了解决这些问题，本发明之申请人也曾提出许多不同的发明，例如日本专利申请公开第 5 - 1 3 9 8 8 0 号以及日本申请第 8 - 8 7 1 8 7 号。根据这些发明，晶种尖端形成楔形形状，或形成晶种使之具有中空部位，以便减少滑动错位到可能的程度，否则该滑动错位将会在晶种与硅熔体接触的时候产生。即使当形成的颈部具有相当大的直径，因此而增加颈部的强度时，这些发明也能够消除错位。

虽然这些发明的方法能够藉由增加颈部直径而将颈部的强度增加

到某种程度，但是这些方法仍然需要缩颈操作，造成形成具有滑动错位的颈部。因此，在某些情况下，如果由于单晶晶锭的直径与长度的增加而使得其具有 150 千克或更大的重量的话，根据这些方法所产生之单晶晶锭颈部的强度变得不足以拉出该晶锭。因此，这些方法并无法彻底解决现有技术方法中所存在的问题。

根据上述现有技术中的缺点观之，本发明是确实可解决该缺点的。本发明的目的是要提供一种硅单晶的制造方法，该方法可以生长出单结晶的晶体而不需要进行用以形成颈部的缩颈操作，该缩颈操作会造成强度上的问题，藉此，本发明能够形成非常容易拉出且具有大直径与长度之重的硅单晶而不须使用诸如晶体固定机构等的复杂装置。

本发明的另一个目的是要提供一种上述方法中所使用的晶种。

为了达成此目的，本发明提供一种了利用柴克劳斯基法的硅单晶制造方法，其中晶种与硅熔体接触，然后在旋转的同时缓慢地拉出，以便在晶种之下拉出硅单晶晶锭，该方法包含下列步骤：提供具有要与硅熔体接触之尖端的晶种，所述的尖端具有尖点形状或是具有截头；缓慢将晶种尖端与硅熔体接触，然后以缓慢的速度降低晶种的高度，以便晶种尖端部熔融直到该尖端部的尺寸增加到预定的值；以及接着慢慢将晶种向上提拉，以便生长出具有预定直径的硅单晶晶锭而不进行缩颈操作。

因为使用了一种其尖端具有尖点形状或截头的晶种，所以晶种尖端首先与硅熔体接触的接触区很小，而且该尖端部的热容量也很小。因此，可避免在晶种之内产生热冲击或是陡剧的温度梯度，进而避免滑动错位的产生。

当以缓慢的速度来降低晶种高度而使得该晶种尖端部被熔融直至尖端部的尺寸增加到预定值时，便有可能将晶种熔融至所需的尺寸，同

时避免在晶种之内产生陡剧的温度梯度（在本说明说中“尺寸”一词表示如果尖端具有圆形截面的话，则代表其直径；以及如果该尖端具有矩形截面的话，则代表其横断面）。因此，在上述的熔融操作期间不会有滑动错位产生于晶种之内。

最后，在控制温度、拉出速度以及其他条件之下，缓慢第向上拉出晶种，以便生长出硅单晶晶锭。因为晶种具有所需的大小且无错位之发生，所以不需要缩颈之操作，因此具有足够的强度，所以可以将晶种生长成所需的直径而产生硅晶晶锭。

在晶种尖端缓慢地与硅熔体接触之前，该晶种最好就固定在紧接于硅熔体之上，以便增加晶种的温度。

当在提高晶种温度之后而将晶种与硅熔体接触时，可以减缓晶种与硅熔体接触时所产生的热冲击，以便更可靠地避免滑动错位的产生。尤其是在晶种尖端是尖点形状的横断面的情况下，更需要这种提高晶种温度的步骤。

为了熔融晶种尖端而降低晶种高度之速度优选是 20 毫米 / 分钟或更小。

这种低速的融熔进一步降低在熔融操作期间，该晶种之内发生滑动错位的可能性。

本发明也提供一种根据 C Z 法之硅单晶晶锭制造过程中所使用的硅晶种，其中与硅熔体接触之硅晶种的尖端具有尖点形状或是截头。

因为硅晶种的尖端具有尖点形状或是截头，所以晶种尖端首先与硅熔体接触的接触区很小，而且该尖端部的热容量也很小。因此，可避免在该晶种与该硅熔体接触时在晶种之内产生热冲击或是陡剧的温度梯度，进而避免滑动错位的产生。

当以缓慢速度降低晶种高度而使得该晶种尖端部熔融直至该尖端部的尺寸增加到预定值时，晶种之浸渍部与熔体之间的接触区渐渐增加。因此，避免了在晶种之内产生陡剧的温度梯度，使得在上述的熔融操作期间不会有滑动错位产生于晶种之内。

硅晶体之尖端优选是圆锥形或金字塔形。在此情况下，方便于加工该晶种。另外，因为晶种尖端具有对称的形状，所以温度梯度变得很均匀，而因此很难产生滑动错位。

首先与硅熔体接触之晶种的端表面优选具有  $9\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 或更小之面积，而以  $2.25\pi$  (毫米<sup>2</sup>) 或更小者更为优选。

当首先与硅熔体接触之晶种的端表面的面积如上述而减少时，则该尖端的热容量会减少，使得接触时的热冲击减小。因此，理想的形状是点形，其接触面积可以减少到零。

在本发明中，硅单晶晶锭可以是单结晶的而不需要进行用以形成颈部的缩颈操作，否则当根据常规的 C Z 法而拉出硅晶浇定时，该缩颈操作将会造成强度上的问题。因此，可以非常容易提拉出具有大直径与长度之重的硅单晶而不须使用诸如晶体固定机构等的复杂装置。

因此，可以将具有 8 - 12 英寸或更大直径（近来所需求的）的硅单晶晶锭拉到所需的长度，而不会有例如单晶晶锭掉落等重大事故的危险。另外，因为不需要缩颈之操作，所以可提高产率。另外，因为可将垂直移动晶种的提升高度减少一个相当于颈部长度的量，所以可以减小拉伸装置的大小。因此，可以显着地提高大直径之硅单晶晶锭的产能与产量，同时降低成本。

附图的简要说明如下：

图 1 A - 1 C 是用以解释测试 1 - 3 的说明视图；

图 2 A - 2 D 是根据本发明之晶种的立体图，其中图 2 A 显示具有圆锥形尖端的圆柱晶种，图 2 B 显示具有金字塔形尖端的棱形晶种，图 2 C 显示具有水平截头尖端的晶种，而图 2 D 显示具有倾斜截头尖端的晶种；

图 3 A 与 3 B 是常规晶种的立体图，其中图 3 A 显示圆柱形晶种，而图 3 B 显示棱形晶种。

本发明的优选实施方案将详述如下。然而，本发明并不局限于此。

本发明之发明人质疑有关于柴克劳斯基 (CZ) 法的技术，其中当单晶晶种与硅熔体接触并因而只有在接触之后进行缩颈操作，否则无法拉出单晶晶锭时，会产生滑动错位，所以发明人以不同的方法研究判断是否可以将晶种与硅熔体接触而不在晶种之内产生滑动错位。

如果可以将晶种与硅熔体接触而不在晶种之内产生滑动错位的话，便可排除进行用以形成颈部的缩颈操作，藉此能够使用要生长成预定直径的晶种，以便生长出硅单晶晶锭。

如果要事先这种生长操作的话，则必须先解决相关的问题，例如晶种固定器以及由滑动错位而引起的强度不足等问题。

当晶种与与硅熔体接触时，则晶种尖端会部分被熔融，而且晶种会与硅熔体接合，藉此使随后的晶体生长。然而，当单晶（晶种）与硅熔体如上所述地接触或分离时，便会产生错位。本发明之发明人发现了有关于这种错位的有趣现象。

众所皆知，当想要将以 CZ 法生长之硅单晶晶锭与硅熔体分离时，滑动错位通常会沿着温度梯度而发生于该生长的单晶部分，而且所产生之滑动错位的密度与面积会随生长中之单晶晶锭内的温度梯度而定。当增加单晶晶锭的生长率以加大温度梯度时，则滑动错位的密度与面积便

会增加，然而当降低单晶晶锭的生长率以减少温度梯度时，则滑动错位的密度与面积便会跟随减少。尤其是当欲以非常缓慢的速度生长之晶体晶锭与硅熔体分离时，在某些情况下不会产生滑动错位。综上所述，可以认为：与硅熔体接触的单晶可以与硅熔体分离而不产生滑动错位。

此外，在所谓的 F Z (浮动区) 方法中，形成硅的熔融区以便生长出单晶晶锭，而且可以在单晶晶锭的生长期间内藉由增加加热器的功率来轻易地增加熔融区的宽度。在这种情况下，虽然在单晶晶锭中与硅熔体接触的生长区再次被熔融，但是却很少发生错位。由上述现象观之，可以认为与硅熔体接触的单晶部位熔融而不会在单晶中产生滑动错位。

另外，在根据 C Z 法之硅单晶晶锭的生长期间中，可以藉由例如调整温度而在预定的范围内任意地改变其生长率。众所皆知，在单晶晶锭的生长期间中，单晶晶锭之生长界面（固 - 液态界面）的形状会随着生长率而改变。在这些情况下，生长的单晶部分再次被熔融于固 - 液态界面中。同样，在此情况下，可继续拉出晶种而不会再单晶晶锭内产生错位。由这种现象观之，可以将与硅熔体接触的单晶部位熔融而不会在单晶中产生滑动错位。

将上述现象纳入考虑之后，可以认为：即使当硅单晶与硅熔体接触或从中分离、或熔融时，只要能够避免热冲击或剧烈之温度梯度的产生，就不会发生错位现象。

为了证明上述认识是正确的，所以进行下列的测试。

### 【测试 1】

如图 1 A 所示，藉由使用具有棱形的普通晶种 1 而首先进行常规的缩颈操作。尤其是形成颈部 3 而消除当晶种 1 与硅熔体接触时所产生的

滑动错位 2，藉此产生没有错位的晶体。接着，将晶体生长成具有约为 10 毫米的直径，并且继续单晶的生长。继续生长具有约为 10 毫米直径的单晶，直到单晶的长度变成约为 10 厘米为止，然后停止晶种的拉伸，以便停止单晶的生长。接着，以 3 毫米 / 分钟的缓慢速度降低晶种的高度，以便将所生长之单晶的部分（约 2 厘米长）浸入于硅熔体中，以便再熔融。当 2 厘米长的部分被再次熔融时，便再次提拉晶种，同时熔体的温度被降低，以便形成圆锥部 4。当单晶的直径变成 10 厘米时，则藉由连续的拉伸操作而生长出笔直的主体部 5。在此情况下，该单晶晶锭的生长是在无错位的状态下持续进行。另外，此测试在下列的条件下进行并获得相同的结果：即，分别以 10 毫米 / 分钟与 20 毫米 / 分钟的速度缓慢地降低晶种的高度。

由此实验结果观之，可以了解的是，当具有约为 10 毫米直径的单晶（与常规晶种的直径相同）仅在单晶与硅熔体接触之后才熔融时，不会有滑动错位产生。

产生这种现象的原因被认为是由于已经与硅熔体接触之单晶是缓慢地浸入硅熔体中以使之熔融，所以热冲击不会作用在单晶上，而且单晶内也不会形成陡剧的温度梯度。

### 【测试 2】

接着，研究已经与硅熔体分离之单晶是否可以在无错位状态下再次熔融。

也就是如图 1 B 所示，首先藉由使用具有棱形形状的普通晶种 1 而进行常规的缩颈操作。形成颈部 3 以移除当晶种 1 与硅熔体接触时所产生的滑动错位，藉此产生没有错位的晶体。接着，将晶体生长成具有约为 10 毫米的直径，并且继续单晶的生长。继续生长具有约为 10 毫米

直径的单晶，直到单晶的长度变成约为 10 厘米而且圆锥尾部 6 具有约为 5 厘米之长度为止。接着将单晶从硅熔体中分离出来，并且暂停单晶的生长。

在单晶晶锭经由颈部而连接于晶种的状态下，将由此形成之小的单晶晶锭从晶体制造炉中移出，然后将晶锭冷却到室温。接着，晶种是固定于未显示的晶种固定器中，并且送回到晶体制造炉中。然后降低晶种的高度，并且在晶体尾部 6 固定于紧接于硅熔体之上的位置中停留 10 分钟，以便增加尾部 6 的温度。

在增加尾部 6 的温度之后，以 3 毫米 / 分钟的速度缓慢地降低晶种的高度。通过这种降低高度的操作，圆锥尾部 6 的尖端缓慢与硅熔体接触，并且逐渐熔融。当具有 10 毫米直径之笔直部的底部（约 2 厘米长）浸入于硅熔体中且在其中熔融时，便开始晶种的提拉操作，在硅熔体降温的同时，便形成圆锥部 4，而不需要缩颈的操作。当晶体的直径达到 10 厘米时，便生长出笔直主体部。在此情况下，单晶晶锭在无错位的状态下持续生长。另外，此测试在下列的条件下进行并获得相同的结果：分别以 10 毫米 / 分钟与 20 毫米 / 分钟的速度缓慢地从紧接于硅熔体之上的位置中来降低晶种的高度。

由此测试结果观之，可以了解的是，即使单晶被暂时冷却时，单晶可以与硅熔体接触并熔融而不会产生滑动错位。

产生此现象的原因被认为是下列的原因。即使单晶是在从硅熔体中分离出来的状态下与硅熔体接触并且被熔融的话，当单晶与硅熔体接触时，热冲击也不会作用在单晶上，这是由于首先与硅熔体接触的部分面积小与热容量小的关系。另外，因为缓慢降低晶种的高度而使得接触区域逐渐增加，所以在熔融期间，不会有陡剧的温度梯度形成于单晶之

内。

### 【测试 3】

接着，研究经过机械加工制造的晶种是否可以在无错位状态下再次熔融，以便生长出单晶而不进行缩颈操作。

首先，从无错位之单晶晶锭中切割出具有 10 毫米直径与 10 厘米长度之圆柱晶体（如图 1 C 所示），圆柱晶体之一端是机械加工成长度超过 5 厘米之圆锥形。接着，通过刻蚀法除去以机械加工所形成的表面受损层，以便制造出从硅单晶中所产生的晶种 1，该晶种 1 基本上与测试 2 中所制造之小单晶晶锭的圆锥尾部 6 具有相同的形状。

然后以测试 2 中所使用的相同方法利用晶种来生长出单晶晶锭。

具有圆锥尖端之晶种首先固定于未显示的晶种固定器中，降低高度并且在圆锥尖端紧接固定于硅熔体之上的位置中停留 10 分钟，以便增加晶种的温度。

在晶种升温之后，以 3 毫米 / 分钟的缓慢速度来降低晶种的高度。通过这种降低高度的操作，圆锥部的尖端缓慢地与硅熔体接触，并且逐渐熔融。当具有 10 毫米直径之笔直部的底部（约 2 厘米长）浸入于硅熔体中并且在其中熔融时，便开始晶种的提拉操作，在硅熔体降温的同时，便形成圆锥部 4，而不需要缩颈的操作。当晶体的直径达到 20 厘米时，便持续生长出笔直主体部。在此情况下，单晶晶锭在无错位的状态下持续生长。另外，此测试在下列的条件下进行并获得相同的结果：即，分别以 10 毫米 / 分钟与 20 毫米 / 分钟的速度缓慢地降低晶种的高度。

由上述测试结果观之，可以了解的是，即使当晶种是象常规晶种一样是从大单晶晶锭中切割出，且通过刻蚀法来除去表面受损区时，有可

能将晶种与硅熔体接触而不会在晶种之内产生滑动错位，然后在逐渐增加接触面积的同时，将晶体熔融到所需的直径。本发明是根据这种发现而完成的。

由于下述原因这种操作是可能的。即使单种是在从硅熔体中分离出来的状态下与硅熔体接触并且被熔融的话，当单种与硅熔体接触时，热冲击也不会作用在单晶上，这是由于首先与硅熔体接触的部分面积小与热容量小的关系。另外，因为缓慢降低晶种的高度而使得接触区域逐渐增加，所以在熔融期间，不会有陡剧的温度梯度形成于单晶之内。

因此，当根据 C Z 法来制造硅单晶晶锭时，只要使用具有尖端或尖端截头（此两者皆具有小的接触面积）的晶种，并且是只要进行缓慢地将晶种尖端与硅熔体接触的提拉操作，便可不必进行缩颈操作而生长出硅单晶晶锭；缓慢地降低晶种的高度，使得晶种尖端熔融成所需的直径而维持重单晶晶锭的最终重量，然后缓慢向上提拉，以便将单晶晶锭生长成所需的直径。

在本发明中，必须将要使用的晶种之尖端形成为尖点形状或是尖点截头。如果晶种具有这种形状的话，则因为晶种尖端具有小的初始接触面积以及降低的热容量的关系，所以即使晶种尖端与硅熔体接触的话，热冲击也不会作用在单晶上，而且也不会有陡剧的温度梯度形成于单晶之内，因此不会发生滑动错位。

当以缓慢的速度来降低晶种高度而使得该晶种尖端部被熔融成所需的直径时，晶种之浸渍部与熔体之间的接触区渐渐增加。因此，可以将晶种熔融而不会产生陡剧的温度梯度，使得在上述的熔融操作期间不会有滑动错位产生于晶种之内。

本发明所使用之硅晶种的尖端优选是圆锥形或金字塔形以便具有

上述的尖点形状，或是尖点截头。

如果晶种具有这种形状的话，则晶种在其尖端会具有小的热容量，且其尺寸（直径或横截面）会朝向基底部逐渐增加。因此，这种晶种将很好地满足本发明之需求。另外，因为晶种尖端具有对称的形状，所以很容易对晶种进行加工，且温度梯度也易变得均匀，因此不会产生滑动错位。

在此情况下，在考虑加工的情形下，可任意决定本发明之晶种之圆锥部7或金字塔部8的长度t（如图2A与2B所示）。然而，如果长度t太小的话，与硅熔体接触之接触面积的增加率会增加，所以必须减缓熔融速率。相反地，如果长度t太大的话，则会太浪费晶种。因此，长度t最好是晶种尺寸（直径或横截面）的1至10倍，更优选为晶种尺寸的2至8倍。

因为晶种形状之需求为尖点形状（其尺寸逐渐朝基底端渐增）、三边金字塔形状、四边金字塔形状或是多边金字塔形状。另外，笔直主体部的剖面形状并不需要对应于尖端部的剖面形状。例如，棱形晶种的尖端可以是圆锥形。另外，可以组合任意的形状以满足要求。

除了图2A与2B所示的尖点形状之外，晶种尖端也可具有截头形状，这是因为硅单晶的脆度、硬度以及其他切割硅单晶时可能发生之问题的缘故，所以很难将晶种加工成尖锐的形状，并且当晶种的接触面积小于预定值时，热冲击是能被防止的。另外，可以任意决定用以截断尖端的方法，其尖端可以图2D所示被倾斜地截断，而不是被水平地截断。

当晶种尖端被截除时，首先与硅熔体接触之尖端的初始接触面积优选不要大于 $9\pi$ （毫米<sup>2</sup>），更优选不大于 $2.25\pi$ （毫米<sup>2</sup>）。

这是因为实验结果显示：错位是通过常规的缩颈操作来消除的，藉由缩颈操作所形成的颈部直径必须是 6 毫米或更小，或是 3 毫米或更小，以便有效地消除错位，而如果初始接触面积不设置为或小于上述值的话，则当与硅熔体接触时，可能会发生滑动错位。

因此，为了避免当晶种与硅熔体接触时所产生的滑动错位，便采用一种完全尖锐的形状（如图 2 A 与 2 B 所示），其接触面积已经被减少到零。

另外，在本发明中，在具有上述形状之晶种尖端逐渐与硅熔体接触之前，晶种优选就固定于紧接在硅熔体之上，以便增加并维持晶种的温度。

这是因为如果在升高晶种温度之后再将晶种与硅熔体接触的话，可减缓接触时所产生的热冲击，因而可靠地避免滑动错位的发生。尤其是，当晶种具有截头形尖端时，则必须要进行用以将晶种温度升高的作业。

无庸置疑，优选将晶种固定于接近硅熔体的位置上一段较长的时间。然而，当晶种固定于紧接于硅熔体之上的位置约为 1 - 2 0 分钟，而使得晶种尖端与硅熔体表面之间的距离为 5 - 1 0 0 毫米时，便可获得充分的结果。

在本发明中，在晶种与硅熔体接触之后，用以缓慢降低晶种高度的速度优选设定为不大于 2 0 毫米 / 分钟。

藉由缓慢的熔融操作，可进一步降低在熔融操作期间内，在晶种内产生滑动错位的可能性。因此，用以降低高度的速度会受到晶种尖端与硅熔体间之接触面积增加率的影响，即，晶种尖端形状的影响。熔融速度也会随着尖端的尖锐程度而增加。

如上所述，晶种尖端部被熔融成所需的尺寸（直径或横截面），该尺寸足以支撑重单晶晶锭的重量。例如，该所需的尺寸可为 8 毫米或更大。在本发明中，因为单晶晶锭可持续从晶种中生长出来，而且在晶种与生长晶锭之间的连接区不会产生滑动错位，所以当与有错位的常规方法形成颈部的生产单晶晶锭的连接区比较起来，即使其连接区与常规的颈部具有相同的直径，根据本发明所生长出来之单晶晶锭的连接区可以具较大的强度。另外，因为晶种可以不需要缩颈操作来生长成所需的直径，以便生长出硅单晶晶锭。因此，例如，可以节省常规缩颈操作用以生长出具有 20 厘米或以上长度之颈部所需的时间。

最后，在晶种尖端熔融成所需大小之后，在如同常规的 C Z 法之温度、提拉速度等的控制下，缓慢地将晶种往上提拉，以形成圆锥部。当晶体达到预定的直径时，便形成笔直的主体部。上述一连串的操作可以安全地提拉出重硅单晶晶锭。

近来，对硅单晶晶锭之直径的要求已达 8 英寸（200 毫米）到 12 英寸（300 毫米），甚至达 16 英寸（400 毫米）。然而，在本发明中，因为不需要进行缩颈操作，也不会产生滑动错位，所以如果单晶晶锭的直径、长度不超过硅单晶晶锭本身的实际限制的话，则理论上可提拉出具有任意直径、长度和重量的单晶晶锭。

本发明并不仅局限于上述的实施方案。上述之实施方案仅作为说明之用。具有与权利要求书中所界定之实施例相同结构、原理与功效之实施例皆包含在本发明之范围之内。

例如，本发明不仅可应用于一般的 C Z 法，也可应用于 M C Z 法（施加磁场之柴克劳斯基晶体生长法），其中，在提拉出硅单晶时，将磁场施加于硅熔体上。因此，“柴克劳斯基法”或“C Z 法”一词不仅是指一般的 C Z 法，也是指 M C Z 法。

# 说 明 书 附 图

图 1A

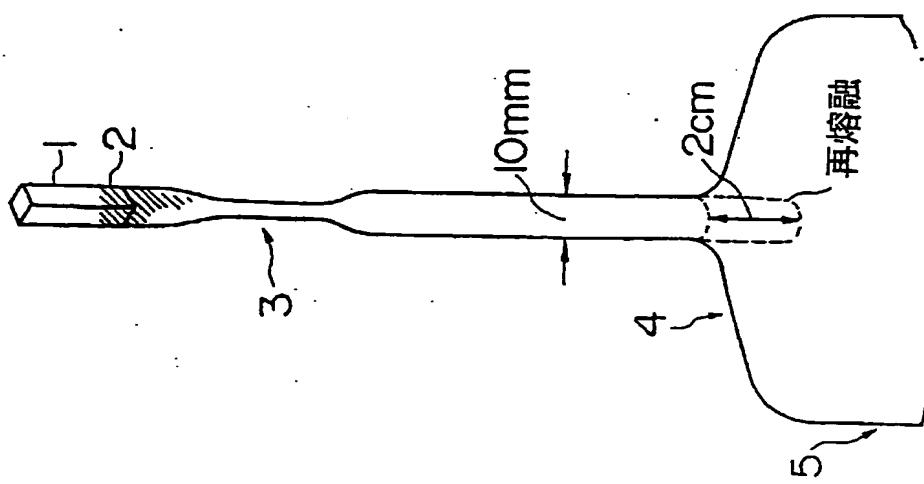


图 1B

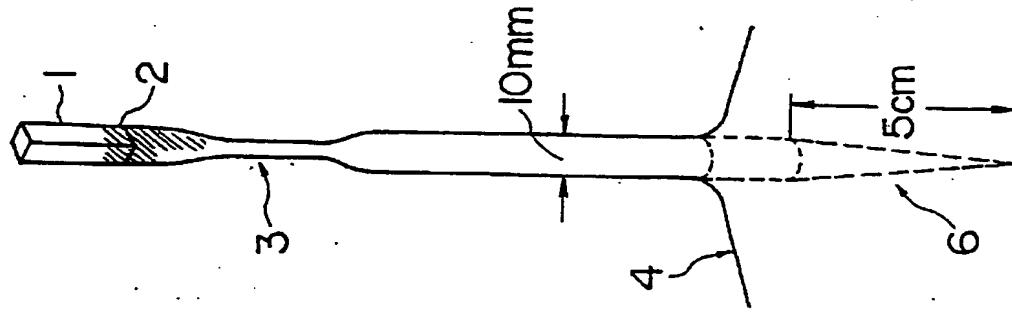


图 1C

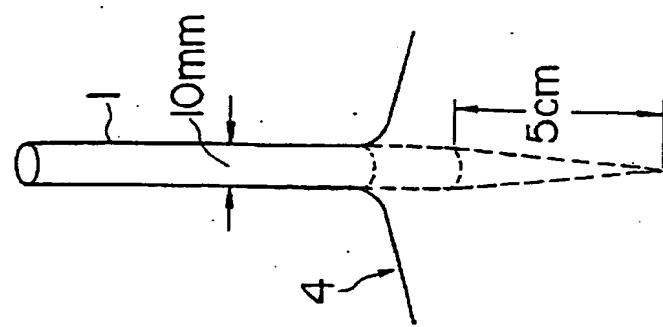


图 2A

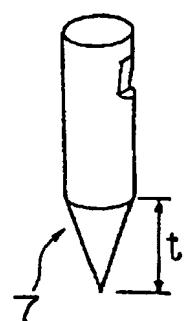


图 2B

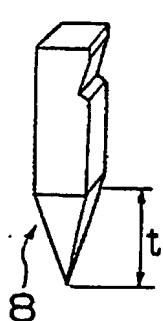


图 2C

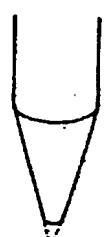


图 2D

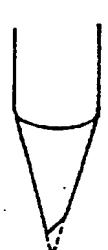


图 3A

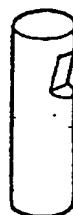


图 3B

